

# EFEITO DO ENVELHECIMENTO NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS, DE FILTRAÇÃO E DE LUBRICIDADE DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO BASE ÁGUA<sup>1</sup>

Kássie Vieira Farias<sup>2</sup>  
Luciana Viana Amorim<sup>3</sup>  
Hélio de Lucena Lira<sup>4</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo estudar o efeito do envelhecimento nas propriedades reológicas (viscosidades aparente e plástica, limite de escoamento, curvas de fluxo e forças géis), de filtração (volume de filtrado) e de lubricidade (coeficiente de lubricidade) de fluidos de perfuração base água. Os fluidos foram preparados adicionando à água os aditivos (viscosificante e controlador de filtrado poliméricos, anti-espumante, alcalinizante, inibidores de argilas hidratáveis, bactericida e lubrificante) em diferentes concentrações sob agitação constante. As propriedades dos fluidos foram determinadas antes e após envelhecimento em forno rotativo por 16 horas, à 200°F. As formulações foram avaliadas quanto aos parâmetros reológicos, em Viscosímetro Fann 35A, à 120°F. As medidas de coeficiente de lubricidade foram determinadas em lubricímetro Ofite, e o volume de filtrado, em Filtro Prensa HPHT da Fann. A partir dos resultados obtidos, foi visto que os aditivos presentes nas formulações são resistentes a altas temperaturas e pressão, bem como com o aumento da temperatura e pressão se tem uma melhoria nas propriedades reológicas e lubricidade dos fluidos estudados.

**Palavras-chave:** Fluidos de perfuração; Propriedades reológicas; Filtração; Lubricidade.

## EFFECT OF THE AGING IN THE RHEOLOGICAL, FILTRATION AND LUBRICITY PROPERTIES OF WATER-BASED DRILLING FLUIDS

### Abstract

This work has the aim to study the effect of the aging in the rheological properties (apparent and plastic viscosities, yield limit, flow curves and gel forces), of filtration (filtered volume) and of lubricity (lubricity coefficient) of water-based drilling fluids. The fluids had been prepared adding to the water additives (polymeric viscositying and controlling filtered, controlling of pH, hydratable clays inhibitors, no-foamy, bactericide, lubricant and sealant) in different concentrations under constant agitation. The properties of drilling fluids had been determined before and after aging in roller oven for 16 hours, to 200°F. The formularizations had been evaluated through the rheological parameters, in Fann Viscometer 35A, to 120°F. The measures of lubricity coefficient had been determined in Ofite lubricity, and the filtered volume, in Filter Press HPHT Fann. The results, had shown the additives are resistant the high temperatures and pressure, as well as with the increase of the temperature and pressure if it has an improvement in the rheological properties and lubricity of studied drilling fluids.

**Key words:** Drilling fluids; Rheological properties; Filtration; Lubricity.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Doutorado em Engenharia de Processos, CCT/UFMG e bolsista PRH-25/ANP, kassievieira@hotmail.com

<sup>3</sup> Pesquisadora Visitante PRH-25/ANP/UFMG, luciana@cct.ufmg.edu.br

<sup>4</sup> Professor Departamento de Engenharia de Materiais UAEMA/CCT/UFMG, helio@dema.ufmg.edu.br

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, um aumento do número dos cenários de perfuração envolve reservatórios mais profundos, poços de geometria complexa e um aumento de exigências dos órgãos ambientais. Em vista disso, vem sendo estudado fluidos de perfuração base água mais elaborados, que podem oferecer melhor hidráulica de perfuração (perda de pressão e transporte de cascalhos), estabilidade de reologia a altas temperaturas, controle de filtrado, estabilidade de folhelhos e boa lubricidade.<sup>(1)</sup>

A perfuração hoje é capaz de atingir regiões de grandes complexidade, sendo possível realizar perfurações nas chamadas águas profundas, regiões que podem atingir profundidades de até 3.000 m, onde normalmente são encontradas altas temperatura e pressão. Além disso, as perfurações tanto *on-shore* quanto *off-shore* podem ser realizadas em poços verticais ou horizontais. Essas atividades só podem ser realizadas graças aos fluidos de perfuração, os quais podem ser definidos como fluidos circulantes capazes de tornar viável a atividade de perfuração.<sup>(2)</sup> Esses fluidos são de grande importância, visto que exercem funções essenciais durante a perfuração, das quais pode-se destacar: resfriar e lubrificar a broca; limpar o fundo do poço dos detritos de perfuração; estabilizar as pressões de sub-superfície; permitir uma boa amostragem das formações seccionadas e reduzir o atrito entre a haste de perfuração e as paredes do poço.

Para que os fluidos desempenhem adequadamente estas funções, muitas vezes se faz necessário o uso de uma variedade de aditivos nas formulações dos fluidos. Os aditivos são substâncias químicas que, quando adicionadas ao fluido, conferem a ele propriedades especiais, requeridas durante as atividades de perfuração. Esses aditivos podem desempenhar uma série de funções no fluido de perfuração. Atualmente, encontram-se disponíveis no mercado um grande número de aditivos, que possuem diferentes funções, em decorrência da variedade de situações encontradas durante a perfuração de poços.<sup>(3)</sup>

Os principais aditivos de fluidos de perfuração são: os viscosificantes, que aumentam a viscosidade para proporcionar melhor limpeza do poço e suspensão dos cascalhos; os inibidores de argila, que em fluidos base de água são utilizados para evitar que as argilas sejam hidratadas e provoquem problemas como a prisão de ferramentas, ou que se incorporem ao fluido aumentando sua viscosidade, demandando tratamentos por diluição; os redutores de filtrado, que são utilizados para evitar que o fluido invada a formação e venha a danificar o poço que está sendo perfurado; os controladores de pH ou alcalinizantes, que controlam o grau de acidez ou alcalinidade do fluido; os lubrificantes, que são adicionados para facilitar a penetração da broca e coluna na formação, evitam o desgaste prematuro das mesmas, diminuindo torques e atritos durante a perfuração; os bactericidas, que evitam a rápida degradação dos aditivos do fluido, permitindo, assim, que o mesmo seja reutilizado em outras perfurações e os adensantes, que conferem peso ao fluido para controlar a pressão no interior do poço e estabilizar as paredes do mesmo.

Em vista disso, este trabalho tem o objetivo de estudar o efeito da temperatura e pressão nas propriedades reológicas (viscosidades aparente e plástica, limite de escoamento, curvas de fluxo e forças géis), de filtração (volume de filtrado) e de lubricidade (coeficiente de lubricidade) de fluidos de perfuração base água.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

#### 2.1.1 Aditivos

Para a preparação dos fluidos de perfuração foram estudados os seguintes aditivos: viscosificante, inibidores de argilas expansivas I, II e III, anti-espumante, bactericida, lubrificante, redutor de filtrado, controlador de pH e selante.

### 2.2 Métodos

#### 2.2.1 Formulações

Foram estudadas 8 formulações de fluidos de perfuração base água, de acordo como apresentado na Tabela 1. Os aditivos estudados foram fornecidos por uma Empresa nacional.

Foi também estudado um fluido, denominado de Padrão, cujos aditivos e formulação foram fornecidos pela Petrobras, como elemento comparativo.

**Tabela 1:** Fluidos Estudados

ADITIVOS	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Água (mL)	350	350	350	350	350	350	350	350
Anti-espumante (gotas)	6	6	6	10	6	6	6	6
Viscosificante (g)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Redutor de filtrado (g)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Controlador de pH (g)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Inibidor I (g)	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	-
Inibidor II (g)	12,0	12,0	12,0	12,0	8,0	-	-	-
Inibidor III (g)	-	-	-	-	-	12,0	8,0	12,0
Bactericida (g)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Lubrificante (%)	1,0	1,5	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0
Selante (g)	15,0	15,0	15,0	20,0	20,0	15,0	20,0	15,0

#### 2.2.2 Preparação dos fluidos de perfuração

Os fluidos de perfuração foram preparados de acordo com a prática de campo, que consiste em adicionar os aditivos, um a um, sob agitação constante. Foi utilizado um agitador mecânico de alta rotação da marca Hamilton Beach, modelo 936. Os fluidos foram preparados em um volume de 350 mL de água industrial, e os aditivos foram adicionados obedecendo a ordem apresentada na Tabela 1. Após adição dos aditivos, a velocidade do agitador foi aumentada para 17.000 rpm, permanecendo por 10 min. A seguir, o fluido permaneceu em repouso durante 24 h.

#### 2.2.3 Estudo reológico

O estudo reológico foi realizado antes e após o envelhecimento dos fluidos.

Para o estudo reológico antes do envelhecimento, o fluido, após 24 h de repouso, foi agitado durante 5 min em agitador mecânico Hamilton Beach modelo 936 na velocidade de 17.000 rpm. Em seguida, o fluido foi transferido para o recipiente do viscosímetro Fann modelo 35 A com combinação R1 B1 e mola de torção F1, sendo R1 o raio do cilindro externo e B1 o raio do cilindro interno do

viscosímetro com valores de 1,8415 cm e 1,7245 cm respectivamente. F1 é a constante da mola com valor igual a 1.<sup>(4)</sup> Neste equipamento, seis valores de torque foram lidos com taxas de cisalhamento variando de  $5,1 \text{ s}^{-1}$  a  $1.022 \text{ s}^{-1}$ . O equipamento foi acionado na velocidade de 600 rpm durante 2 min e efetuada a leitura. Logo após, a velocidade foi mudada para 300 rpm e efetuada a leitura após 15 seg. Em seguida, mudou-se a velocidade para 200 rpm e esperou-se estabilizar para efetuar a leitura. O mesmo procedimento foi utilizado para as velocidades de 100 rpm, 6 rpm e 3 rpm. Com os dados de leitura e após tratamento matemático, foram traçadas as curvas de fluxo (tensão de cisalhamento x taxa de cisalhamento) dos fluidos estudados.

Para obtenção da força gel inicial, o fluido durante 15 s foi mantido no viscosímetro Fann 35A na velocidade de 600 rpm e, em seguida, permaneceu em repouso durante 10 s. Logo após, colocou-se na velocidade de 3 rpm, efetuando-se a leitura. A seguir, para a obtenção da força gel final, o fluido foi deixado em repouso durante 10 min e, logo após, efetuada a leitura na velocidade de 3 rpm. A força gel é a diferença entre o gel final e o gel inicial.

As viscosidades aparente (VA) e plástica (VP) e o limite de escoamento (LE) foram obtidos segundo a norma N-2605.<sup>(5)</sup> A VA é o valor obtido na leitura a 600 rpm dividido por 2, dada em cP, e a viscosidade plástica (VP) é a diferença das leituras obtidas a 600 rpm e a 300 rpm, dada também em cP. O LE é a diferença entre a leitura a 300 rpm e a VP, dado em  $\text{N/m}^2$ .

Os fluidos foram também submetidos ao envelhecimento em forno rotativo Fann Roller Over modelo 704 ES à  $200^{\circ}\text{F}$  por 16h.

Para o estudo reológico após envelhecimento, o fluido foi transferido para um copo térmico da marca Fann à temperatura de  $120^{\circ}\text{F}$  e realizado o mesmo procedimento para obtenção das leituras no viscosímetro Fann 35A, como apresentado anteriormente.

#### **2.2.4 Determinação do volume de filtrado**

Após a determinação dos parâmetros reológicos, foi determinado o volume de filtrado API para os fluidos que não foram submetidos ao envelhecimento (VF) e o volume de filtrado HPHT (VF) para os fluidos submetidos ao envelhecimento.

O volume do filtrado foi determinado em filtro prensa da marca Fann, com aplicação de uma pressão da ordem de  $7,0 \text{ kgf/cm}^2$  (100 psi) durante 30 min. Os resultados são expressos em mL.

O volume de filtrado HPHT foi determinado em filtro prensa HPHT da marca Fann seguindo os procedimentos apresentados a seguir:

Aproximadamente 1h antes de iniciar o ensaio a jaqueta térmica foi ligada para atingir a temperatura de  $200^{\circ}\text{F}$ . A célula foi preenchida com cerca de 200 mL do fluido e vedada. A válvula de saída foi fechada e a célula foi assentada dentro da jaqueta térmica e introduzido um termômetro metálico no orifício existente na parte superior da célula. Na válvula de saída foi colocada uma proveta graduada para armazenar o filtrado coletado.

O conjunto de pressurização foi encaixado na válvula de entrada e foi regulada uma pressão de 100 psi e dada meia volta para abertura da válvula de entrada. A pressão foi mantida a 100 psi até que a temperatura de  $200^{\circ}\text{F}$  foi alcançada e estabilizada. Logo após, a pressão foi aumentada para 500 psi e a válvula de saída foi aberta, dando-lhe meia volta. Após 30 min, as válvulas de saída e entrada foram fechadas e volume de filtrado HPHT foi anotado em mL multiplicado

por dois. A pressão do sistema de pressurização foi liberada, através da válvula de alívio. O conjunto de pressurização foi retirado.

### 2.2.5 Determinação do coeficiente de lubricidade

Para a determinação do coeficiente de lubricidade foi utilizado um lubricímetro da marca Ofite. Utilizou-se a metodologia sugerida pelo fabricante que consiste em agitar o fluido durante 5 min a alta rotação e, logo após, transferir para o recipiente do lubricímetro, no qual permanece por 5 min a uma rotação de 60 rpm e torque 0. Em seguida, é aplicada uma força de 150 in/lb (equivalente a aplicar uma pressão de 34.500 a 69000 kPa) e efetuada a leitura após 5 min. Logo após, calcula-se o coeficiente de lubricidade (CL) a partir dos seguintes tratamentos matemáticos.

$$FC = 34 / \text{Leitura}_{\text{água}} \quad (1)$$

$$CL = (\text{Leitura}_{\text{fluido}} \times FC) / 100 \quad (2)$$

Sendo:

FC = fator de correção;

Leitura<sub>água</sub> = Leitura do lubricímetro obtida com água deionizada;

Leitura<sub>fluido</sub> = Leitura do lubricímetro obtida com o fluido de teste;

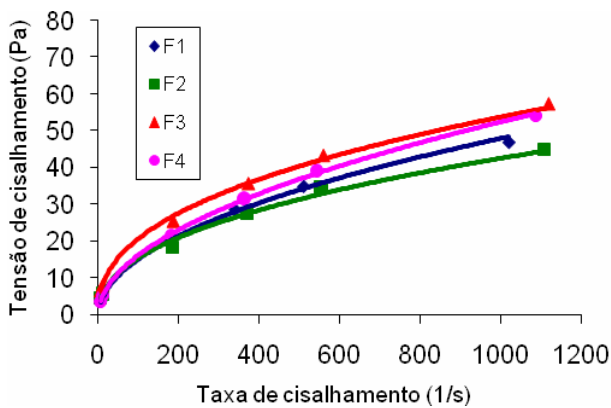
CL = coeficiente de lubricidade (adimensional).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

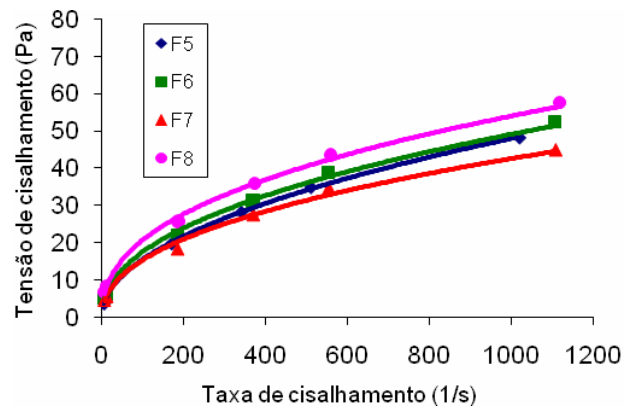
### 3.1 Estudo do Comportamento Reológico: Curvas de Fluxo

As curvas de fluxo dos fluidos preparados a partir das formulações estudadas (Tabela 1) estão apresentadas na Figura 1.

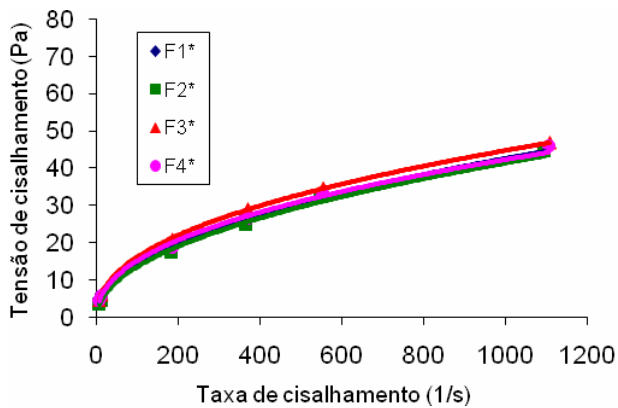
Observou-se que as curvas de fluxo de todos os fluidos apresentaram comportamento pseudoplástico com limite de escoamento. Este tipo de comportamento pode ser causado por diversos fatores, dentre os quais as características físicas das partículas, como sua área superficial, formato e dimensões; o tipo de interação entre as partículas (atração ou repulsão), e a concentração, peso molecular e conformação de moléculas de dispersantes presentes no meio líquido. A presença de aglomerados relativamente fracos na suspensão, originados pela atuação de forças de interação atrativas entre partículas, pode ser considerada a principal causa do fenômeno de pseudoplasticidade.<sup>(6)</sup>



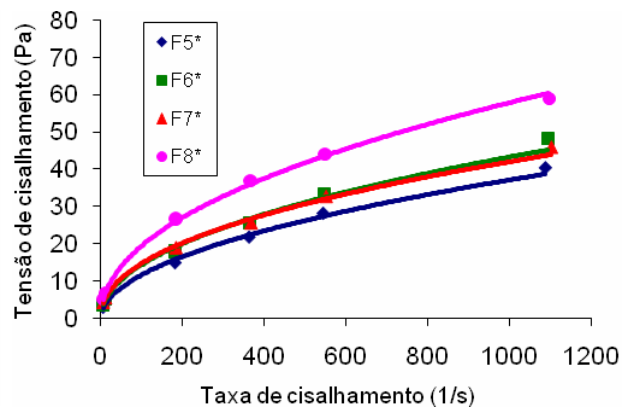
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 1:** Curvas de Fluxo dos Fluidos: (a) F1, F2, F3 e F4; (b) F5, F6, F7 e F8; (c) F1\*, F2\*, F3\* e F4\* e (d) F5\*, F6\*, F7\* e F8\*.

Na Tabela 2 estão apresentadas as equações das curvas, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), os índices de comportamento de fluxo ( $n$ ) e os índices de consistência do fluido ( $K$ ) dos fluidos estudados a temperatura ambiente (F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7 e F8) e submetidos ao envelhecimento (F1\*, F2\*, F3\*, F4\*, F5\*, F6\*, F7\* e F8\*).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de todos os fluidos foi em média de 0,99; valor muito próximo de 1, o que representa uma ótima correlação dos dados experimentais com o modelo matemático proposto.

O índice do comportamento de fluxo ( $n$ ) foi em torno de 0,5. Este índice indica o quanto o comportamento de fluxo do fluido se afasta do comportamento Newtoniano; fluidos com valores próximos da unidade apresentam comportamento próximo de um fluido Newtoniano.

**Tabela 2.** Equação da curva, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), índice de comportamento de fluxo (n) e índice de consistência do fluido (K) dos fluidos estudados

Fluido	Equação	$R^2$	n	K
F1	$y = 1,3115x^{0,5014}$	0,9996	0,5014	1,3115
F2	$y = 1,7155x^{0,4800}$	0,9997	0,4800	1,7155
F3	$y = 1,9414x^{0,4747}$	0,9998	0,4747	1,9414
F4	$y = 1,5035x^{0,4748}$	0,9998	0,4918	1,5035
F5	$y = 1,5729x^{0,4940}$	0,9986	0,4940	1,5729
F6	$y = 1,6447x^{0,4957}$	0,9999	0,4957	1,6447
F7	$y = 1,4191x^{0,4952}$	0,9999	0,4952	1,4191
F8	$y = 1,8947x^{0,4895}$	0,9999	0,4895	1,8947
F1*	$y = 1,5534x^{0,4979}$	0,9995	0,4979	1,5534
F2*	$y = 1,7169x^{0,4799}$	0,9996	0,4799	1,7169
F3*	$y = 1,5729x^{0,4940}$	0,9986	0,4994	1,5729
F4*	$y = 1,5534x^{0,4979}$	0,9995	0,4979	1,5534
F5*	$y = 1,5634x^{0,4982}$	0,9995	0,4982	1,5634
F6*	$y = 1,8234x^{0,4990}$	0,9996	0,4990	1,8234
F7*	$y = 1,5329x^{0,4840}$	0,9992	0,4840	1,5329
F8*	$y = 1,6534x^{0,4879}$	0,9996	0,4879	1,6534

O índice de consistência do fluido (K) variou de 1,3115 para o fluido F1 a 1,9414 para o fluido F3. Este índice, por sua vez, indica o grau de resistência do fluido ao escoamento; quanto maior o valor de K, maior a sua resistência ao escoamento e, portanto, maior a sua viscosidade.

### 3.2 Propriedades Reológicas, de Filtração e de Lubricidade

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de propriedades reológicas (viscosidade aparente (VA), viscosidade plástica (VP), força gel (FG) e limite de escoamento (LE)), de filtração (volume de filtrado (VF)) e de lubricidade (coeficiente de lubricidade (CL)) dos fluidos estudados antes e após o envelhecimento.

De acordo com a primeira parte da Tabela 3 (estudo antes o envelhecimento), foram observadas variações pouco significativas nos valores das propriedades reológicas (VA, VP, FG e LE). A viscosidade aparente (VA) variou de 44,0 cP para o fluido F7 a 56,3 cP para o fluido F8; a viscosidade plástica (VP) variou de 23,6 cP para o fluido F1 a 30,0 cP para o fluido F8; a força gel (FG) variou de 2,0 cP para o fluido F8 a 3,7 cP para o fluido F3; o limite de escoamento variou de 42,0 cP para o fluido F5 a 52,5 cP para fluido F8. O volume de filtrado (VF) sofreu variações significativas, variando de 6,6 mL para o fluido F5 a 7,8 mL para o fluido F1. O coeficiente de lubricidade (CL) foi em torno de 0,100 para todos os fluidos.

Comparando os resultados dos fluidos F1 e F4, que apresentam em suas formulações, respectivamente, 6 gotas e 10 gotas de anti-espumante e 15,0 g e 20,0 g de calcita (selante), observou-se que o aumento da concentração do anti-espumante, de 6 gotas para 10 gotas, não influenciou nos valores das propriedades reológicas, de filtração e de lubricidade dos fluidos estudados. Também foi visto que 6 gotas do anti-espumante estudado foi suficiente para obtenção de fluidos com uma menor formação de espuma. O volume de filtrado sofreu uma redução de 7,8 mL para 7,0 mL com o aumento da concentração da calcita de 15,0 g para 20,0 g. Esse comportamento está de acordo com o esperado, visto que o selante tem como função auxiliar na redução das perdas por filtração, ou seja, reduzir o filtrado.

**Tabela 3:** Propriedades reológicas, de filtração e de lubricidade dos fluidos estudados antes e após o envelhecimento

<b>Antes do Envelhecimento</b>						
<b>Fluidos</b>	<b>VA (cP)</b>	<b>VP (cP)</b>	<b>FG (cP)</b>	<b>LE (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>VF (mL)</b>	<b>CL</b>
<b>F1</b>	46,2	23,6	3,2	45,0	7,8	0,103
<b>F2</b>	46,1	23,8	3,0	44,7	7,7	0,128
<b>F3</b>	51,2	28,0	3,7	46,4	7,2	0,106
<b>F4</b>	47,0	24,8	3,2	44,0	7,0	0,111
<b>F5</b>	47,0	26,0	2,5	42,0	6,6	0,110
<b>F6</b>	51,3	28,5	3,5	45,5	6,8	0,103
<b>F7</b>	44,0	24,0	2,5	40,0	6,8	0,100
<b>F8</b>	56,3	30,0	2,0	52,5	7,2	0,092
<b>Padrão</b>	44,5-60,0	23,5-35,0	2,0-3,5	39,0 – 49,0	6,0-7,2	0,090-0,120
<b>Após o Envelhecimento</b>						
<b>Fluidos</b>	<b>VA (cP)</b>	<b>VP (cP)</b>	<b>FG (cP)</b>	<b>LE (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>VF (mL)</b>	<b>CL</b>
<b>F1*</b>	43,5	24,0	2,0	39,2	13,0	0,074
<b>F2*</b>	43,5	24,0	2,0	39,2	13,0	0,074
<b>F3*</b>	46,0	24,0	1,0	44,0	14,4	0,076
<b>F4*</b>	45,0	25,0	1,0	40,0	15,0	0,082
<b>F5*</b>	38,0	24,0	1,5	31,0	13,8	0,072
<b>F6*</b>	47,0	29,0	1,5	41,0	14,4	0,086
<b>F7*</b>	45,0	26,0	1,0	38,0	16,8	0,073
<b>F8*</b>	57,5	29,0	1,0	57,0	16,0	0,080
<b>Padrão*</b>	30,0-38,0	16,0-24,0	1,0-2,0	25,0 – 33,0	14,0-16,0	0,110-0,120

*Sendo: VA- viscosidade aparente; VP- viscosidade plástica; FG – força gel; LE- limite de escoamento; VF – volume de filtrado e CL – coeficiente de lubricidade.*

Comparando os resultados apresentados pelos fluidos F1, F2 e F3, que contém as concentrações de 1,0%, 1,5% e 2,0% de lubrificante em suas formulações, respectivamente, observou-se variação pouco significativa para os valores das propriedades reológicas com o aumento da concentração do aditivo. Os valores de viscosidades aparente (VA) dos fluidos F1 e F2, preparado com 1,0 e 1,5% de lubrificante, foram em torno de 46,0 cP, e o fluido F3 apresentou uma VA de 51,2 cP. O mesmo comportamento pode ser observado com os valores de VP, de FG e de LE. O VF também não apresentou variações significativas com o aumento da concentração do lubrificante.

Os valores de CL sofreram redução com a adição do lubrificante aos fluidos, já que foi visto em estudo recente,<sup>(7)</sup> que fluidos semelhantes aos estudados sem lubrificante apresentam CL em torno de 0,290, e o fluido F1, que apresenta uma concentração de 1,0 % do lubrificante em sua formulação, apresentou CL de 0,103. Com o aumento da concentração do lubrificante (de 1,0% para 1,5% e 2,0%), observou-se que o CL apresentou valores de 0,103, 0,128 e 0,106, respectivamente, comprovando a eficiência deste aditivo e que a concentração de 1,0 % é suficiente para promover uma adequada lubricidade ao fluido.

Comparando os fluidos F4, F5, F6, F7 e F8, que variaram as concentrações dos inibidores de argilas expansivas I, II e III, não foram observadas mais uma vez variações significativas. Foi observado que as propriedades dos fluidos base água são influenciadas pela presença de aditivos inibidores de argilas expansivas e não pela sua concentração. Como pode ser visto para os resultados do fluido F8, que apresentou uma VA um pouco mais elevada (56,3 cP) em comparação aos demais



fluidos estudados. O fluido F8 não contém em sua formulação o inibidor de argilas expansivas I (KCl) e o inibidor de argilas expansivas II (inibidor à base de sal quaternário de amônio), ele contém apenas o inibidor de argilas expansivas III (inibidor biodegradável). Esse fluido foi estudado com o objetivo de desenvolver fluidos ambientalmente corretos, já que os inibidores de argilas expansivas I e II, são respectivamente o KCl e um inibidor à base de um sal quaternário de amônio, sendo assim, não corretos ambientalmente.

Comparando os resultados dos fluidos estudados com os obtidos a partir do fluido Padrão (Tabela 3), observou-se que os valores de VA, VP, FG, LE, VF e CL dos fluidos estudados encontram-se próximos aos da faixa de valores do fluido de referência.

Na segunda parte da Tabela 3 (estudo após o envelhecimento) estão apresentados os resultados de propriedades reológicas (viscosidade aparente (VA), viscosidade plástica (VP), força gel (FG) e limite de escoamento (LE)), de filtração (volume de filtrado ( $VF_{HPHT}$ )) e de lubrificidade (coeficiente de lubrificidade (CL)) dos fluidos estudados a altas temperatura e pressão (após o envelhecimento).

A partir da Tabela 3, foi observado que a viscosidade aparente (VA) sofreu variação significativa, variando de 38,0 cP para o fluido F5\* a 57,5 cP para o fluido F8\*. Os valores de viscosidade plástica (VP) e de força gel (FG) não sofreram variações significativas. O limite de escoamento (LE) variou de 31,0 N/m<sup>2</sup> para o fluido F5\* a 57,0 N/m<sup>2</sup> para o fluido F8\*. O volume de filtrado (VF) variou de 13,0 mL para os fluidos F1\* e F2\* a 16,8 mL para o fluido F7\*. Todos os coeficientes de lubrificidade dos fluidos estudados apresentaram valores em torno de 0,080.

Foi observado que após o envelhecimento os aditivos utilizados nas formulações dos fluidos são resistentes a altas temperaturas e pressão. Esse comportamento pode ser confirmado após ensaios a partir dos quais se obteve os valores de temperatura de decomposição dos aditivos ainda não publicados. Todos os aditivos apresentaram valores superiores a temperatura utilizada no envelhecimento dos fluidos estudados (200<sup>o</sup>F).

Comparando os resultados dos fluidos obtidos antes e após envelhecimento (Tabela 3), observa-se que os valores das propriedades reológicas (VA, VP, FG e LE) e de lubrificidade (CL) sofreram redução após o envelhecimento, com exceção dos fluidos F7\* e F8\*, que praticamente não sofreram alterações.

Foram observados maiores valores de volume de filtrado, isso deve-se, provavelmente, a pressão utilizada no ensaio do filtrado a altas temperatura e pressão, que é de 500 psi (cinco vezes maior que a pressão utilizada no ensaio de determinação de filtrado a temperatura ambiente, ou seja, 100 psi).

Comparando os resultados obtidos para os fluidos após envelhecimento com os resultados do fluido Padrão submetido também ao envelhecimento (Tabela 3), observa-se que os valores de VA, VP e LE dos fluidos estudados ainda estão acima dos valores do fluido Padrão. A FG de todos os fluidos estudados esteve de acordo com os valores do fluido Padrão. Foram obtidos melhores resultados de VF e CL do que o fluido Padrão. Apenas o fluido F5\* apresentou todas as propriedades de acordo com o fluido Padrão.

#### **4 CONCLUSÕES**

- De acordo com o estudo realizado, pôde-se concluir que:
- todos os fluidos apresentaram comportamento de fluidos pseudoplásticos;

- foi visto que 6 gotas de anti-espumante é suficiente para obtenção de fluidos com uma menor formação de espuma;
- a presença do lubrificante melhora a lubricidade dos fluidos, promovendo melhores coeficientes de lubricidade, fazendo com que todos os fluidos apresentem excelentes valores de coeficiente de lubricidade, e a menor concentração estudada (1,0 %) é suficiente para promover uma lubricidade adequada aos fluidos;
- os fluidos estudados sem envelhecimento (temperatura ambiente) apresentam comportamento reológico e de lubricidade próximos ao fluido Padrão;
- em geral, o envelhecimento dos fluidos promove uma redução nos valores das propriedades reológicas e de lubricidade e acréscimo nas propriedades de filtração dos fluidos estudados;
- os valores de VA, VP e LE dos fluidos estudados após envelhecimento ainda estão acima dos valores apresentados pelo fluido Padrão;
- os fluidos submetidos ao envelhecimento apresentaram valores de VF e CL melhores que os obtidos para o fluido Padrão; e
- o fluido F5\* apresentou propriedades reológicas, de filtração e de lubricidade de acordo com o fluido Padrão.

### **Agradecimentos**

À Agência Nacional do Petróleo - ANP, ao PRH-25, à FINEP, ao CTBrasil, ao CTPetro, ao CNPq (Processo N° 472188/2006-2 e Processo N° 010592/2006-2) pelo apoio financeiro e concessão de bolsas de Iniciação Científica, à System Mud Indústria e Comércio Ltda. pelo fornecimento dos aditivos estudados e ao LABDES pelo uso de suas instalações físicas.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 TEHRANI, M. A.; POPPLESTONE, A.; GUARNERI, A. e CARMINATI, S.; Water- Based Drilling Fluid for HP/ HT Applications. In: International Symposium on Oilfield Chemistry, Texas, USA, 2007.
- 2 GUIMARÃES, I. B. e ROSSI, L. F. S.; Estudo dos Constituintes dos Fluidos de Perfuração: Proposta de uma Formulação Otimizada e Ambientalmente Correta. In: 4º PDPETRO, Campinas, SP.
- 3 FELIX, T. F.; VIDAL, E. L. F.; GARCIA, R. B.; COSTA, M.; GIRÃO, J. H; PEREIRA, E.; Desenvolvimento de fluidos de perfuração à base de água com alta capacidade de inibição e alta lubricidade. In: 4º PDPETRO, Campinas, SP, 2007.
- 4 MACHADO, J. C. V. Reologia e escoamento de fluidos. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2002.
- 5 PETROBRAS, Ensaio de Viscosificante para Fluido de Perfuração Base de Água na Exploração e Produção de Petróleo, Método, N-2605, 1998.
- 6 PANDOLFELLI, V.C. *et al.* Dispersão e empacotamento de partículas. Editora Fazendo Arte, São Paulo, 2000.
- 7 FARIAS, K.V; AMORIM, L. V.; FERREIRA, H. C.; Avaliação de Lubrificantes em Fluidos de Perfuração Base Água. In: 63º Congresso Anual da ABM, Santos, SP, 2008.

